# Pengaruh PWHT pada Spesimen *Preheat* Pengelasan *Dissimilar Metal* antara Baja Karbon (A-106) dan Baja Tahan Karat (A312 TP-304H) dengan *Filler Metal* Inconel82

Sri Nugroho, Wiko Sudiarso, dan Rusnaldy

Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro Jl.Prof Soedharto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang E-mail: srinugroho@undip.ac.id

#### Abstrak

Primary reformer di PT. X adalah suatu alat yang berbentuk pipa yang berfungsi untuk memecahkan gas hidrokarbon menjadi hidrogen. Alat ini dioperasikan pada suhu 600-800°C dan tekanan 30-40 bar. Primary reformer dibuat dari material yang berbeda yaitu baja karbon dan baja tahan karat. Kedua material tersebut disambung dengan menggunakan las GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) dengan filler metal inconel 82. Di lapangan, kobocoran (atau disbonding) antara sambungan pada material baja karbon dan weld metal sering ditemukan. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh PWHT (Post Weld Heat Treatment) terhadap kualitas spesimen preheat hasil pengelasan DMW (Dissimilar Metal Welding). Hasil yang diharapkan dari penelitian ini dapat mengungkap lebih jelas penyebab kebocoran pada pipa primary reformer di atas. Spesimen diperoleh dari PT. X berupa hasil pengelasan sesuai standar dan memakai preheat. Spesimen ini kemudian diberi PWHT dan dikarakterisasi. PWHT dilakukan dengan cara memanaskan spesimen di tungku dari temperatur 400 sampai dengan 800°C selama 2 jam. Karakterisasi yang dilakukan meliputi analisis struktur mikro menggunakan mikroskop optik dan pengujian kekerasan menggunakan mikro vikers. Dari pengujian struktur mikro didapatkan hasil pelebaran dark band dan terjadinya pengkasaran butir pada daerah HAZ baja karbon yang berstruktur full ferit. Nilai kekerasan pada daerah dark band ini cenderung lebih tinggi dibanding daerah lainnya. Rendahnya nilai kekerasan pada daerah HAZ baja karbon disinyalir sebagai awal mula terjadinya kegagalan penyebab kebocoran pipa primary *reformer* jika pipa dipakai pada waktu yang relatif lama.

Kata kunci: Primary reformer, disbonding, PWHT, dark band, pengkasaran butir.

#### Pendahuluan

Primary reformer adalah suatu alat yang dioperasikan di sebuah industri petrokimia pada suhu 600-800°C dan tekanan 30-40 bar. Alat ini berbentuk tube yang berfungsi untuk memecahkan gas hidrokarbon menjadi hidrogen. Primary reformer dibuat dari material yang berbeda. Pada flange menggunakan material baja karbon dan pada top tube menggunakan material baja tahan karat. Kedua material tersebut disambung dengan menggunakan las GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) dengan filler metal Inconel 82. Pengelasan dengan dua logam dasar berbeda atau disebut juga Dissimilar Metal Welding (DMW) sering ditemukan dalam konstruksi dan peralatan di industri petrokimia. Pengelasan dengan dua logam berbeda terpaksa dipakai untuk menekanan biaya pembuatan perlengkapan peralatan industri. Namun pada aplikasi ditemukan kobocoran antara sambungan *flange* dengan material baja karbon dan *weld metal* yang menggunakan *filler metal* inconel 82. Berikut adalah contoh kegagalan instalasi *primary peformer* yang dikarenakan retak *disbonding* pada *tube* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Disbonding pada tube

*Disbonding* adalah fenomena lepasnya sambungan las yang terjadi pada DMW. Mekanisme kegagalan DMW menurut literatur adalah *solidification cracking*, *clad disbonding* sepanjang *type II boundaries*, dan *creep failure in the HAZ* baja karbon [2].

Tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh PWHT pada spesimen *preheat* terhadap kualitas hasil pengelasan DMW. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini dapat mengungkap lebih jelas penyebab kebocoran pada pipa *primary reformer* di atas.

## **Prosedur Penelitian**

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon (A-106) dan baja tahan karat (A312 TP-304H). Metoda pengelasan yang dilakukan adalah metoda *butt joint*, *preheat* 150°C, dan pengelasan GTAW menggunakan *filler metal* Inconel 82. Semua spesimen hasil pengelasan tersebut diperoleh dari PT. X. Variasi temperatur PWHT yang dilakukan pada penelitian ini adalah 400-800°C dengan *holding time* 1 jam. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian struktur mikro dan kekerasan.

# Hasil dan Pembahasan

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon A-106 yang tergolong baja karbon medium dengan kandungan karbon (C) 0.3% dan baja tahan karat (A312 TP-304H) yang tergolong jenis baja tahan karat austenit yang tidak bersifat magnetis karena pengaruh kandungan unsur nikel antara 8 -11%.

Pembahasan struktur mikro difokuskan pada daerah sambungan antara baja karbon dan *weld zone*-nya dikarenakan daerah ini yang sering mengalami kegagalan. Gambar 2 merupakan foto struktur mikro pada bagian batas antara *weld metal* dengan HAZ baja karbon sebelum diberi PWHT.





Struktur mikro menunjukkan fasa ferit dan perlit pada HAZ baja karbon dengan ukuran sekitar 7.39µm.



Gambar 3. Batas antara *weld metal* dengan HAZ baja karbon dengan PWHT  $400^{\circ}$ C (satu skala = 5 µm).

Pada Gambar 3 terlihat terdapat daerah yang berwarna gelap, populer disebut dengan *dark band* [2]. *Dark band* ini kemungkinan terbentuk akibat migrasi karbon dari baja karbon menuju perbatasan *weld metal*. Lebar atau sempitnya daerah tersebut dipengaruhi oleh adanya temperatur dan waktu pemanasan (PWHT, operasi). Migrasi atau difusi karbon dapat terjadi pada temperatur sekitar 400°C [5]. Lebar *dark band* ini sekitar 18µm dan besar butir ferit+perlit di sebelahnya 9µm.



Gambar 4. Batas antara *weld metal* dengan HAZ baja karbon dengan PWHT 500°C (satu skala = 5  $\mu$ m).

Gambar 4 merupakan daerah batas antara *weld metal* dengan HAZ baja karbon dengan PWHT 500°C. Struktur mikro pada Gambar 4 terlihat *dark band* yang semakin melebar (sekitar 21µm) di sepanjang batas *weld metal* dan ukuran butir menjadi lebih besar, yaitu sekitar 10.45 µm.



Gambar.5 Batas antara *weld metal* dengan HAZ baja karbon dengan PWHT  $600^{\circ}$ C (satu skala = 5 µm).

Struktur mikro batas antara HAZ baja karbon dan *weld metal*, pelebaran *dark band* tidak terlalu terlihat jelas, akan tetapi meningkatnya *dark band* akibat temperatur PWHT ini ada dengan lebar sekitar  $27\mu$ m serta terjadi pembesaran ukuran butir yang berukuran 17.1µm (lihat Gambar 5).



Gambar 6. Batas antara *weld metal* dengan HAZ baja karbon dengan PWHT 700°C (satu skala = 5  $\mu$ m).

PWHT pada 700°C (Gambar 6) membuat terjadinya pengkasaran butir ferit menjadi sekitar 27,7  $\mu$ m, hampir tidak terlihat adanya fasa perlit. Ukuran lebar *dark band* tersebut sekitar 15  $\mu$ m. Fenomena ini membuktikan bahwa terjadi difusi karbon dengan ditemukannya fasa ferit yang menjadi dominan dan adanya *dark band*.



Gambar 7. Batas antara *weld metal* dengan HAZ baja karbon dengan PWHT 800°C (satu skala =  $5 \mu m$ ).

Efek ekstrim akibat PWHT  $800^{\circ}$ C ditunjukkan pada Gambar 7. Pemanasan pada temperatur tersebut akan membuat difusi karbon yang semakin hebat dibuktikan dengan adanya pengkasaran butir dan *dark band*. HAZ baja karbon makin kasar ukuran butir feritnya (36 µm) dan *dark band* mencapai 22 µm.

Angka kekerasan pada spesimen sebelum PWHT ini tidak sesuai realitanya karena terlalu tinggi (lihat Gambar 8).



Gambar 8. Grafik nilai kekerasan DMW tanpa PWHT

Hal ini kemungkinan disebabkan oleh efek dari pengerjaan permesinan pada saat pengambilan sampel spesimen. Seharusnya, kekerasan baja karbon sekitar 130 VHN dan baja tahan karat 140 VHN.

Gambar 9 merupakan distribusi nilai kekerasan daerah pengelasan DMW dari *base metal* baja tahan karat sampai dengan *base metal* baja karbon akibat PWHT 400°C. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah *weld metal* yang bernilai 198.3 VHN. pada daerah batas antara *weld metal* dengan HAZ baja karbon, nilai kekerasannya melebihi daerah HAZ baja karbon dengan nilai 187.3 VHN. Hal ini dikarenakan adanya migrasi karbon yang membentuk *dark band* seperti pada struktur mikronya (lihat Gambar 3).



Tidak jauh berbeda dengan grafik nilai kekerasan dari PWHT temperatur 400°C, pada Gambar 10, daerah paling keras terletak pada titik daerah *weld metal* yang bernilai 220.6 VHN. Sedangkan daerah batas *weld metal* dan HAZ baja karbon bernilai 205.3 VHN. Migrasi karbon dapat mengubah kekuatan mekanik daerah tersebut menjadi keras, seperti yang diperlihatkan oleh strukrur mikronya (lihat Gambar 4).



Gambar 10. Grafik nilai kekerasan DMW dengan PWHT 500°C



Gambar 11. Grafik nilai kekerasan DMW dengan PWHT 600°C.

Gambar 11 merupakan distribusi nilai kekerasan daerah pengelasan DMW dari base metal baja tahan karat sampai dengan base metal baja karbon. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah base metal baja tahan karat dengan nilai kekerasan 311.6 VHN, nilai kekerasan ini terlalu tinggi dan tidak sesuai yang dimiliki pada baja tahan karat jenis ini. Diduga hal ini dikarenakan kesalahan pada pengambilan data atau daerah ini masih terdistribusi akibat efek dari pengerjaan permesinan. Daerah weld metal dan daerah batas weld metal dan HAZ baja karbon memiliki nilai kekerasan yang hampir sama kekerasanya. Pada daerah ini memiliki nilai 253.5 dan 250.2 VHN tidak jauh signifikan perbedaanya, karena pada daerah batas memiliki dark band yang cukup lebar maka kekerasanya juga semakin meningkat (lihat Gambar 5).



Gambar 12. Grafik nilai kekerasan DMW dengan PWHT 700°C

Gambar 12 merupakan distribusi nilai kekerasan daerah pengelasan DMW dari base metal baja tahan karat sampai dengan base metal baja karbon. Nilai kekerasan tertinggi masih pada daerah weld metal yang bernilai 263.7 VHN, tetapi daerah batas antara weld metal dengan HAZ baja karbon juga tinggi yang nilai kekerasanya melebihi daerah HAZ baja karbon dengan nilai 250.2 VHN. Adanya dark band di sepanjang perbatasan mengakibatkan kekerasan pada daerah tersebut meningkat, walaupun pada struktur mikro tidak tampak jelas, tetapi fenomena ini terjadi pada PWHT temperatur 700°C (lihat gambar 6). Pengkasaran butir pada daerah HAZ baja karbon menyebabkan turunnya kekerasan pada daerah tersebut.



Gambar 13. Grafik nilai kekerasan DMW dengan PWHT 800°C.

Gambar 13 merupakan distribusi nilai kekerasan daerah pengelasan DMW dari base metal baja tahan karat sampai dengan base metal baja karbon. Nilai kekerasan tertinggi pada titik daerah batas weld metal dengan HAZ baja karbon yang terletak di dark band. Kekerasan mencapai 270.9 VHN sehingga melebihi kekerasan yang dipersyaratkan oleh NACE MR0715 dimana kekerasannya < 250 VHN [7]. Sesuai dengan struktur mikro pada Gambar 7, daerah yang mengalami pengkasaran butir memiliki kekerasan yang sangat rendah yaitu mencapai 90-an VHN (lebih rendah daripada kekerasan material awal).

Gambar 14 merupakan resume kesimpulan dari fenomena keberadaan *dark band* dan pengkasaran butir sebagai akibat pengaruh PWHT.



Gambar 14. (a) Struktur mikro daerah batas *weld metal* dan HAZ baja karbon tanpa PWHT, (b) Struktur mikro daerah batas *weld metal* dan HAZ baja karbon dengan PWHT 800°C

Gambar 14 adalah struktur mikro pengaruh PWHT temperatur 800°C dan holding time 1 jam. Diperlihatkan pengaruh PWHT pada struktur mikro tersebut adalah semakin tinggi temperatur PWHT akan membuat perubahan dark band membesar dan terjadi pengkasaran butir, serta baja karbon dengan 0.3% C dan berstruktur ferit + perlit berubah menjadi full ferit akibat PWHT tersebut. Akibat dari dua fenomena tersebut maka terjadi penurunan sifat pada baja ini, nilai kekerasan daerah ini cenderung lebih rendah dibandingkan dengan base metalnya, yaitu bernilai 90-an VHN. Dari nilai kekerasan tersebut baja ini menjadi lemah, sedangkan pada aplikasi dioperasikan pada temperatur 600-800°C ditambah lagi tekanan operasi yang cukup tinggi secara terus menerus. Dari fenomena ini maka dapat disimpulkan bahwa disbonding kemungkinan besar terjadi di daerah ini. Mekanisme kegagalan disbonding pada DMW adalah creep failure in the HAZ.

# Kesimpulan

Pengaruh pemanasan atau PWHT terhadap spesimen preheat DM W adalah adalah semakin temperatur PWHT maka akan terjadi tinggi pengkasaran butir pada daerah HAZ baja karbon dan munculnya dark band. Dari pengujian struktur mikro ditemukan, besar ukuran butir untuk spesimen tanpa PWHT, PWHT 400°C, 500°C, 600°C, dan 700°C adalah berturut-turut 7.39 µm, 9 µm, 10.45 µm, 17.1 µm, 28 µm, dan 36 µm. Struktur berubah dari ferit+perlit menjadi dominan ferit untuk spesimen PWHT 700°C dan 800°C. Pengaruh yang terjadi pada sifat mekaniknya adalah, semakin tinggi temperatur PWHT maka pada daerah batas weld metal dengan HAZ baja karbon semakin keras, yaitu ditunjukkan dengan nilai kekerasan pada daerah ini yang semakin meningkat. Pada variasi temperatur PWHT 800°C nilai kekerasan mencapai 270.9 VHN tetapi terjadi penurunan nilai kekerasan pada HAZ baja karbon menjadi 90-an VHN. Hal ini melebihi yang dipersyaratkan oleh NACE MR0715 dimana kekerasannya < 250 VHN

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kou Sindo, 2003, "*Welding Metalurgy*", second edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- [2] Lippold, John C, 2005, "Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels", John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- [3] Okumura, Toshie., Wiryosumarto Harsono., 2000, "*Teknologi Pengelasan Logam*", Cetakan

ke-8, PT Pradnya Paramita, Jakarta

- [4] ASTM, 2002, A-106, "Standard Specification for Seamless Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service"
- [5] AWS, 1997, WHB-4, "Dissimilar Metals"
- [6] ASM team, 1993, "ASM Metal Handbook Volume 6 Welding, Brazing and Soldering", American Society for Metals, The United States of America.
- [7] NACE MR0175